

Arquitectura para el Monitoreo Remoto de Funciones Vitales en Pacientes Ambulatorios

David Andrada¹, Pablo Martín Sparhaki², Hernán Matías Novillo³, Jorge Ierache⁴

Instituto de Sistemas Inteligentes y de Enseñanza Experimental de las Robóticas

Facultad de Informática, Universidad de Morón

Morón, CP B1708JPF, Buenos Aires, Argentina

e-mail: ¹davidandrada@gmail.com, ²mspablo@gmail.com,

³hernan.novillo@gmail.com, ⁴jierache@yahoo.com.ar

Resumen

Se propone una arquitectura para el desarrollo de un sistema de telemedicina aplicado para el monitoreo de ECG⁵ con acceso remoto, permitiendo el ingreso desde distintos tipos de aplicaciones cliente, en el cual emplearemos las mejores prácticas de diseño con el objetivo de establecer las bases de un Framework de telemedicina que incentive a futuras investigaciones extender las funcionalidades del mismo y lleven a una mejora continua. La arquitectura es propuesta para redes TCP/IP bajo el Framework de Microsoft .NET⁶ 2.0.

Palabras clave: telemedicina, monitoreo remoto, ECG, arquitectura, software libre, web services, servicios de integración.

Abstract

This article present the architecture for the development of a telemedicine system applied for ECG⁵ monitoring with remote access, allowing access from different kind of client applications. In this system, we will use the best design practices in order to perform the bases of an open source telemedicine framework to motivate future researches to expand its functionalities and to make continuous improvements. The architecture is proposed for TCP/IP networks under the Microsoft .NET⁶ Framework 2.0.

Keywords: telemedicine, remote monitoring, ECG, framework, open source, web services, integration services.

⁵ Iniciales de Electrocardiograma. Trazador gráfico de las corrientes eléctricas producidas por la acción del músculo cardíaco

⁶ Framework Microsoft .NET, *plataforma*, es un componente del sistema operativo del Microsoft Windows. Proporciona un gran biblioteca de soluciones precodificadas a los requisitos comunes del programa, y maneja la ejecución de los programas escritos específicamente para esta plataforma.

1 INTRODUCCIÓN

La OMS⁷ define la telemedicina como:

La distribución de servicios de salud, en el que la distancia es un factor crítico, donde los profesionales de la salud usan información y tecnología de comunicaciones para el intercambio de información válida para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades o daños, investigación y evaluación; y para la educación continuada de los proveedores de salud pública, todo ello en interés del desarrollo de la salud del individuo y su comunidad [1].

La telemedicina se refiere a todas las formas que posee el intercambio de información médica, incluyendo una variedad de tecnologías de comunicación. Las aplicaciones referidas a la medicina y al cuidado de la salud incluyen telecomunicaciones, y datos que son usados para transferir información médica [2].

Las funciones que la telemedicina podía ofrecer en sus inicios, en los años 70, eran muy limitadas y comúnmente a los pacientes les servía para consultar información médica [3].

Hoy en día, el significado de telemedicina se relaciona con el uso tecnológico de los sistemas de información proveyendo información médica y servicios para miles de propósitos, como diagnósticos de enfermedades, transferencia de datos y registros médicos, monitoreo de rehabilitación de pacientes o procesos de terapias. Además, en los últimos tiempos la tradicional plataforma de telemedicina de escritorio ha evolucionado a plataformas más prácticas, como las plataformas de telemedicina wireless⁸ y dispositivos móviles.

1.1 La problemática

Los avances en las tecnologías de información y comunicación están induciendo cambios extremadamente rápidos. La telemedicina se concreta en productos, sistemas y servicios médicos digitalizados. La aplicación de la telemedicina a los sistemas médicos puede lograr una mayor eficacia de los servicios de salud y un mejor acceso a la atención de personas con discapacidades o ancianos [4]. Al mejorar la calidad de la atención médica y favorecer la salud, también ésta puede ser beneficiosa para los prestadores, los profesionales y los usuarios finales de la atención. Asimismo, debería influir en los costos de la atención, al reducir el número de exámenes médicos superfluos o repetidos.

Más aún, en la mayoría de los países existen poblaciones alejadas y de difícil acceso y múltiples inconvenientes en la accesibilidad a la atención en salud.

De manera posible, la telemedicina puede acortar estas brechas venciendo el obstáculo de la distancia, acercando la atención de salud a las poblaciones menos favorecidas.

Esto además permite el intercambio de opiniones entre distintos profesionales que no necesariamente tienen que residir físicamente cerca del paciente. Éstos pueden estar a miles de kilómetros de distancia, incluso en otros países.

1.2 Propósito de la arquitectura

Detallados brevemente los beneficios que conlleva la telemedicina, se presenta a continuación la arquitectura base del sistema para el monitoreo de señales vitales de pacientes internados como de ambulatorios a través de Internet.

⁷ Organización Mundial de la Salud

⁸ Wireless: Referido a las telecomunicaciones, se aplica el término inalámbrico al tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico, sino se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión

Los usuarios del sistema, médicos, enfermeros y demás profesionales de la salud, podrán hacer uso de esta tecnología desde la misma red de área local, dentro del hospital donde esté instalado, como también desde puntos remoto a través de Internet, con la posibilidad de usar distintos tipos de aplicaciones cliente.

En la actualidad existen varios proyectos open source⁹ sobre telemedicina en varias plataformas diferentes, pero no ocurre lo mismo a la hora de buscar proyectos basados en el Framework de .NET. Entre los proyectos de telemedicina open source vivientes y relevantes podemos mencionar el proyecto iPath [5] de la universidad de Basel que consta de una plataforma de colaboración para el intercambio de conocimientos médicos y de enseñanza médica a distancia; así como también, el portal Open ECG [6] que además de publicar varios sistemas open source, publica estándares abiertos sobre ECG y la telemedicina. Otro caso es el de PhysioNet [7] proyecto del MIT que incluye una gran biblioteca de señales biomédicas capturadas de varios hospitales para su intercambio, el análisis cooperativo de los datos obtenidos, la evaluación nuevos algoritmos propuestos a partir del análisis y el desarrollo del software open source, consecuente de la aplicación de estos algoritmos.

Para facilitar la administración de la información y la consistencia de los datos almacenados, la base de datos está diseñada siguiendo el Modelo Relacional. La funcionalidad principal que propone su diseño, es la posibilidad de administrar la información de manera estandarizada sin importar el tipo de unidades de medida, escalas, o valores a ser introducidos en la base de datos. De esta manera el Framework brindará a cualquier dispositivo periférico, que intentemos conectar, la capacidad de almacenamiento de información.

Para posibilitar la conexión de cualquier tipo de dispositivo periférico, se contempla el uso de interfases estandarizadas que pueden ser reconocidas por el Framework. Estas interfases serán implementadas de acuerdo a las características y necesidades del dispositivo con el que vayamos a interactuar. El propósito principal estas interfases es poder traducir la información obtenida, por el dispositivo, al formato estándar que comprende el Framework.

El diseño realizado para la Base de Datos brinda la posibilidad de realizar trabajos de Minería de Datos sobre la información recolectada, permitiendo predecir tendencias y comportamientos que permitan la toma de decisiones pro-activas y conducidas mediante un conocimiento acabado de la información.

Otra ventaja que ofrece mediante el manejo de servicios web, es poder armar las interfases gráficas de usuarios, acorde a la tecnología que deseamos utilizar. Esto se debe a que los servicios web trabajan bajo el protocolo estándar WSDL¹⁰, que permite la interoperabilidad con diferentes plataformas que puedan conectarse a una red.

También se contempla la configuración de diferentes tipos de alarmas, pudiendo ser las mismas ejecutadas en forma recurrente en caso que fuese necesario.

La flexibilidad que ofrece esta arquitectura, hace que su aplicación sea extensible en funcionalidades dentro de la telemedicina, debido a que la información es convertida a un formato estándar, sin importar la tecnología de la fuente de origen de datos. Así como también permite la

⁹ Código abierto (del inglés *open source*) es el término por el que se conoce al software distribuido y desarrollado en forma libre. Este término empezó a utilizarse en 1998 por algunos usuarios de la comunidad del software libre.

¹⁰ Siglas de Web Services Description Language, un formato XML que se utiliza para describir servicios Web.

exposición de la información acorde a las necesidades, ya sean tecnológicas o de arquitectura, sin tener que realizar grandes modificaciones.

El propósito de este Framework, es brindar una alternativa más dinámica, respecto al monitoreo de los sistemas ECG tradicionales, e incentivar a los profesionales de la salud a incorporar el uso de las nuevas tecnologías.

A continuación se expone las interrelaciones con el hardware y el software definidas en el framework (Figura 1). En el gráfico se observa la distribución de los distintos módulos de software con respecto a los componentes que integran la arquitectura de hardware.

Todos aquellos dispositivos englobados bajo el nombre de “Periféricos de Adquisición de Datos” (PAD), tienen como tarea la obtención de señales de datos analógicas desde los pacientes, y luego la transformación a señales digitales para poder interactuar con las “Terminales de Adquisición de Datos” (TAD). Las TAD, cumplen el propósito de transformar la información digital, proveniente de los PAD, a registros de datos para guardarlos dentro del Servidor de Base de Datos.

El Servidor Web contiene aquellas Aplicaciones que brinda el Framework, ya sean de Administración, Monitoreo, y Web Services.

Mediante los Web Services, se permite la adquisición de datos almacenada en el servidor de Base de Datos, y la interacción con diferentes plataformas que deseen comunicarse con nuestro Framework.

Las “Terminales Monitoras” (TM), tienen como propósito poder exhibir la información que se encuentra dentro de la base de datos, acorde a los parámetros indicados por el usuario previamente. En cuanto a las tareas que realizan cada uno de los módulos de Software, se detallan en la siguiente sección.

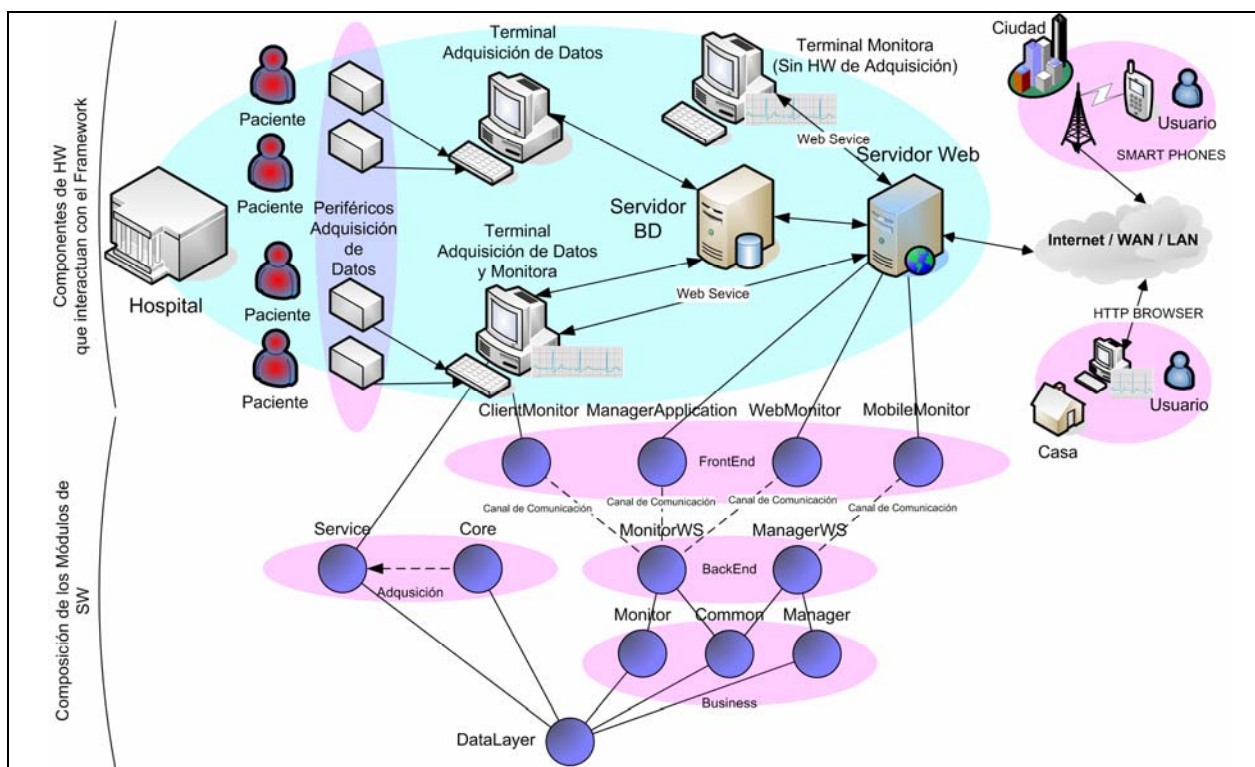


Figura 1: Alcance esquemático del framework

2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El desarrollo de la arquitectura de monitoreo **en este caso** para ECG se basa en la utilización de tecnología Microsoft para todos los elementos que componen al sistema. El sistema operativo de base para los servidores de Adquisición, Servidores Web es Windows Server 2003 debido a su alto grado de confiabilidad y estabilidad. Como motor de Base de Datos utilizaremos SQL Server 2005.

A continuación se expone la distribución de los diferentes Módulos del Sistema agrupados en diversos Paquetes que constituyen el Framework (Figura 2):

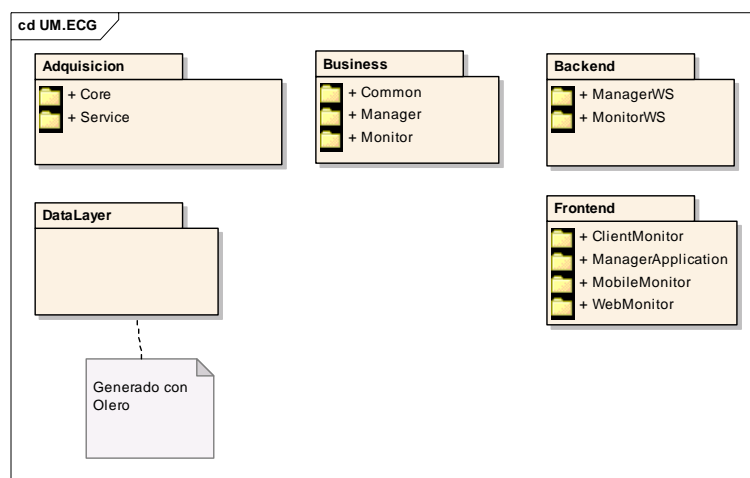


Figura 2: Paquetes del Framework

2.1 Adquisición

Este paquete contiene todo lo concerniente para la adquisición de datos que los equipos de ECG conectados a este servidor envíen, y su correspondiente persistencia en la Base de Datos. Está formado por los sub paquetes Core y Service, detallados a continuación.

2.1.1 Core

En este Paquete se encuentran todas las clases que representan los conectores y los equipos de ECG, tratando de generalizar lo máximo posible y aplicando los conceptos de patrones definidos por el GoF¹¹ [8] para abstraer al sistema del medio físico con el cual se conecta (RS-232, Ethernet, etc.) el dispositivo de ECG con el Servidor de Adquisición.

2.1.2 Service

Este paquete hace uso del Core y es un Windows Service que se ejecutará en segundo plano el cual obtiene de la Base de Datos cuales son los equipos de ECG que deben estar corriendo y cuales son sus propiedades iniciales, en otras palabras, es el responsable de orquestar la ejecución de los equipos de ECG para la adquisición de los datos.

¹¹ *Gang of Four (GOF) A System of Patterns* es un libro de las ciencias de computación que propone soluciones standard y convenciones de nombres para problemas comunes o similares en el diseño del software.

2.2 DataLayer

Es el paquete que representa la capa de acceso a datos, la cual es generada con una herramienta OpenSource llamada ORM.NET la cual permite comunicación y punto de acceso con la Base de Datos dado que está optimizada para trabajar con Microsoft SQL Server.

Este componente será referenciado desde el Componente de Adquisición y en el Backend.

2.3 Business

Dentro de este paquete se encuentra toda la lógica de negocio para el monitoreo y la administración de los equipos de ECG. Los sub paquetes que lo componen son los siguientes:

2.3.1 Monitor

Conjunto de Clases que proveen toda la lógica de negocios para el monitoreo de ECG del sistema.

2.3.2 Manager

Grupo de Clases que proveen la lógica de negocios necesaria para la Administración de los equipos de ECG permitiendo la asignación de los pacientes a cada equipo, iniciar, pausar o terminar la adquisición de datos desde los dispositivos entre otras funciones.

2.3.3 Common

Provee toda la lógica de negocio que es común a los módulos Manager y Monitor, favoreciendo la reutilización de las prestaciones del paquete Business.

2.4 Backend

En este paquete se encuentran los servicios Web que hacen de punto de acceso a la lógica de negocios centralizada para el sistema de monitoreo y de administración de los equipos de ECG.

Utilizaremos Web Services dado que proveen de una plataforma de comunicación estandarizada y de seguridad que es óptima para éste escenario, el cual permitirá obtener escalabilidad e interoperabilidad con las aplicaciones de frontend.

2.4.1 MonitorWS

Aplicación Web Service que expone los métodos necesarios para comunicarse con la capa de negocios de monitoreo desde los Frontends.

2.4.2 ManagerWS

Aplicación Web Service que expone los métodos necesarios para comunicarse con la capa de negocios de administración desde los Frontends.

2.5 Frontend

Este módulo abarca los proyectos que forman la capa de presentación del sistema, tanto para el monitoreo como para la administración de los equipos de ECG.

Se subdividen en paquetes que representan los diferentes tipos de aplicaciones clientes con los que contará el sistema.

3 DESPLIGUE DEL SISTEMA

El equipamiento y distribución ideal es el detallado debajo (Figura 3) en el que se expone claramente el escenario en el cual se ejecutan todos los módulos del sistema.

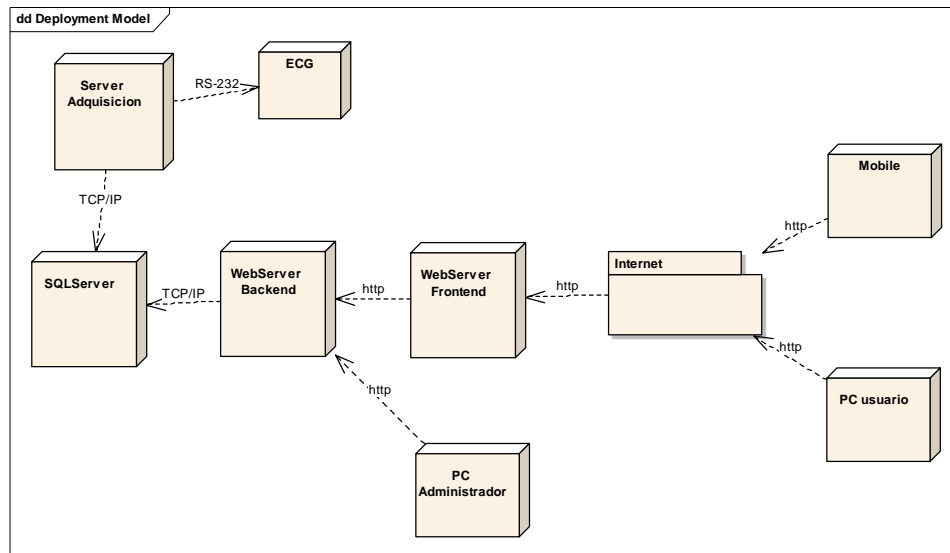


Figura 3: Diagrama de Despliegue

4 CONCLUSIÓN Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Este framework de telemedicina, se desarrollo en primera instancia para al monitoreo de ECG, simplificando al usuario el acceso con distintos tipos de aplicaciones, la cual cada una se ajusta a la necesidad específica del mismo y sin importar donde se encuentre, gracias al uso de Internet como medio de comunicación, todo bajo el marco de seguridad adecuado para evitar el uso indebido del sistema, y facilitando también la adquisición de datos sin importar que tecnología de dispositivos se utilice para recolectar la información acerca de los pacientes.

Como futuras líneas de investigación que surgen a raíz de este trabajo y que son potencialmente importantes se enumeran las siguientes:

- Integrar mediante servicios web al Sistema con un Sistema Experto para la asistencia en Diagnósticos.
- Aplicar Minería de Datos sobre la información recolectada para predicción de tendencias o comportamientos emergentes que permitan la toma de decisiones proactivas.
- Extensión de funcionalidades al Sistema para monitorear más funciones vitales

5 REFERENCIAS

- [1] World Health Organization. Technical report article A58/211998. http://www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA58/A58_21-sp.pdf
- [2] Magnus Berggren. Wireless communication in telemedicine using Bluetooth and IEEE 802.11b. *Uppsala University, Suecia, noviembre 2001*. <http://www.it.uu.se/research/publications/reports/2001-028/2001-028.pdf>.
- [3] Carmen C. Y. Poon, Yuan-Ting Zhang. A Novel Biometrics Method to Secure Wireless Body Area Sensor Networks for Telemedicine and M-Health. *IEEE Communications Magazine*, abril 2006.
- [4] Alberto Kopec, José Salazar Gómez. Aplicaciones de Telecomunicaciones en Salud en la subregión andina. *Oras-Conhu Organismo Andino de Salud*, abril 2003. http://www.comunidadandina.org/telec/Documentos/Telecomunicaciones_salud.pdf
- [5] iPath Project - iPath association en colaboración con la Universidad de Basel, Suiza. <http://telemed.ipath.ch/ipath/>
- [6] OpenECG - Standard communications protocol for computer assisted electrocardiography. http://www.openecg.net/index_ws2.html
- [7] PhysioNet – Public service of the Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*. <http://physionet.org/>.
- [8] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides, "Gang of Four" (GoF). Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. *Addison-Wesley Professional*, ISBN 020163361, año 1996.